Iranian Journal of Field Crops Research
Homepage: https://jcesc.um.ac.ir

Research Article
Vol. 20, No. 2, Summer 2022, p. 121-136

Evaluation of Correlation Coefficient and Factor Analysis for Seed Yield, Some Phenological and Morphological Traits of Fenugreek (*Trigonella foenum-graceum*) Landraces in Drought Conditions

H. R. Ehyaee[1], M. Kafi[2*], A. Nezami[2], M. H. Fotokian[3], M. Goldani[4]

Received: 17-12-2018 Revised: 05-01-2019 Accepted: 09-01-2019	**How to cite this article:** Ehyaee, H. R., Kafi, M. Nezami, A. Fotokian, M. H., and Goldani, M. 2022. Evaluation of Correlation Coefficient and Factor Analysis for Seed Yield, Some Phenological and Morphological Traits of Fenugreek (*Trigonella foenum-graceum*) Landraces in Drought Conditions. Iranian Journal of Field Crops Research 20 (1): 121-136. (in Persian with English abstract). DOI: 10.22067/jcesc.2020.38275.

Introduction

Fenugreek (*Trigonella foenum-graecum*) is an annual plant belong to Fabaceae and is one of the traditional medicinal plants worldwide. It can provide seed and protein suitable for human's nutrition as well as animals. Water scarcity is a key threat in twenty-first century. On average, 40% of the world land surface are drylands, while this surface area is 90% in Iran. Supplying water requirement of Fenugreek through irrigation is an important factor affecting its growth and yield.

Material and Methods

The experiment was conducted as split plots based on randomized complete block design with three replications at the Research Farm, Faculty of Agriculture of shahed university, Iran, in 2014 and 2016. The main-plot was three levels of drought stress, included severe drought stress (20% field capacity), moderate drought stress (40% field capacity), mild drought stress (60% field capacity) and non-drought stress (80% field capacity) as control. Sub plots were nine Fenugreek ecotypes including Neyshabur, Shirvan, Mashhad, Tabriz, Roudsar, Isfahan, Hamadan, Ardestan and Shiraz. At maturity, and the plants were harvested from the soil surface and the plant height and number of lateral branches, number of pod per plant, number of seed per pod, 1000 seed weight, seed yield and aboveground biological yield were measured in the lab. Statistical analysis carried out using SPSS version 16 software. Significant difference was set at $p \leq 0.05$ by using Duncan's multiple range test.

Results and Discussion

Results of stepwise regression showed that the traits including biomass, harvest index, branch length and number of pods per plant explained 96.7% of grain yield variation, respectively. Factor analysis for morphologic, yield and component yield traits showed the first three independent factors explained 93.48% of total variance in all genotypes. Days to maturity with 36.47% of total variance had the highest amount in the first factor, while, number of seeds per plant and seed yield with 29.74% and 27.07% of total variance were ranked as second and third factors, respectively. Cluster analysis by Ward's minimum variance, clustered ecotypes into three groups including 1- Isfahan, Ardestan, Hamedan and Shiraz 2- Mashhad and Tabriz 3- Shirvan, Rudsar and Neyshabur. The results showed that, the plant height, Internode length, number of pod and seed per plant, 1000 seed weight, biological and seed yield and harvest index significantly affected by drought stress and ecotypes. The highest plant height, number of pods, 1000 seed weight, biomass, seed yield

1- PhD Student, Department of Agrotechnology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran
2- Professor, Department of Agrotechnology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran
3- Associate Professor, Department of Agronomy, College of Agriculture, Shahed University, Tehran, Iran
4- Associate Professor, Department of Agrotechnology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran
(Coressponding Author Email: m.kafi@um.ac.ir)
DOI: 10.22067/jcesc.2020.38275

and harvest index was recorded in Shirvan ecotype while, the longest day to maturity and height of first pod were observed in Neyshabur ecotype at 80% FC. The highest plant height, the first formed pod, 1000 seed weight, seed yield and harvest index in Shirvan ecotype were observed in the 40% FC.

Conclusion

Drought stress reduced all studied traits in all Fenugreek ecotypes in this experiment. For seed yield, the performance of shirvan ecotype was the best compare to other ectypes in control and mild and moderate stress condition. The highest distance of the first pod from the soil surface in the control condition was observed in the Neyshabur ecotype but in the moderate stress condition in Shirvan ecotype, this trait is important for the mechanized cultivation. Based on the results, there is a reliable variation amongst different Iranian Fenugreek ecotypes and they could use for breeding programs against drought stress. It also seems that Shirvan ecotype of Fenugreek can be considered for stable seed and biomass production under moderate drought stress and normal conditions.

Keywords: Cluster analysis, Medicinal plant, Stepwise regression, Water stress

نشریه پژوهشهای زراعی ایران
Homepage: https://jcesc.um.ac.ir

مقاله پژوهشی

جلد ۲۰، شماره ۲، تابستان ۱٤۰۱، ص ۱۳٦-۱۲۱

بررسی ضرایب همبستگی، تجزیه علیت صفات عملکرد دانه و برخی صفات فنولوژیک و مورفولوژیک توده‌های بومی شنبلیله (*Trigonella foenum-graceum*) در شرایط تنش خشکی

حمیدرضا احیایی[۱]، محمد کافی[۲*]، احمد نظامی[۲]، محمدحسین فتوکیان[۳]، مرتضی گلدانی[٤]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۹/۲۶
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۱۰/۱۹

چکیده

تنش خشکی مهم‌ترین عامل محدودکننده رشد گیاهان در مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان است و کشت گیاهان دارویی متحمل یکی از راهکارهای کاهش اثرات نامطلوب خشکی در این مناطق محسوب می‌گردد. به‌منظور تعیین همبستگی میان برخی از صفات مورفولوژیک و اجزای عملکرد در توده‌های بومی شنبلیله و روابط بین آن‌ها در شرایط تنش خشکی، آزمایشی در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه شاهد واقع در تهران در دو سال زراعی ۱۳۹۴ و ۱۳۹۶، به‌صورت اسپیلیت پلات در قالب طرح بلوک کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد و ۹ توده بومی شنبلیله (نیشابور، شیروان، مشهد، تبریز، رودسر، اصفهان، همدان، اردستان و شیراز) تحت تأثیر تیمار شاهد (۸۰٪ FC)، خشکی ملایم (۶۰٪ FC)، خشکی متوسط (۴۰٪ FC) و تنش خشکی شدید (۲۰٪ FC) ظرفیت زراعی خاک قرار گرفتند. نتایج تجزیه رگرسیون گام‌به‌گام نشان داد که صفات زیست‌توده، شاخص برداشت، طول شاخه جانبی و تعداد غلاف فرعی ۹۶/۷٪ تغییرات عملکرد دانه را توجیه می‌کنند. نتایج حاصل از تجزیه عامل‌ها بر خصوصیات مورفولوژیک، عملکرد و اجزای عملکرد نشان داد که سه عامل اصلی و مستقل ۹۳/۴۸٪ از تغییرات کل داده‌ها را توجیه نمودند. عامل روز تا رسیدگی ۳۶/۶۷٪ از واریانس کل را به خود اختصاص داد و به‌عنوان بالاترین پارامتر (عامل اول) معرفی شد. عامل‌های تعداد دانه در بوته و عملکرد دانه با دارا بودن ۲۹/۷۴٪ و ۲۷/۰۷٪ از واریانس کل به‌ترتیب در عوامل دوم و سوم بیشترین مقدار را داشتند. تجزیه خوشه‌ای به روش وارد نیز توده‌های بومی مورد بررسی را در سه گروه متفاوت طبقه‌بندی نمود. در تیمار شاهد بیشترین ارتفاع بوته، تعداد غلاف، عملکرد و شاخص برداشت در توده بومی شیروان و بالاترین ارتفاع غلاف از سطح زمین در توده بومی نیشابور مشاهده شد. نتایج حاصل از این مطالعه می‌تواند برای انتخاب هدفمند والدین مناسب از گروه‌های مختلف برای تولید ارقام جدید در برنامه‌های اصلاحی شنبلیله مورد استفاده قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: تجزیه خوشه‌ای، گیاه دارویی، رگرسیون گام‌به‌گام، تنش رطوبتی

مقدمه

تنش خشکی مهم‌ترین عامل محدودکننده کشت و کار گیاهان در مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان است (Rohbakhs, 2013) ازاین‌رو برای تولید محصولات زراعی در این مناطق به گیاهان سازگار با خشکی و همچنین گونه‌های مقاوم به تنش خشکی با کارایی بالای استفاده از آب احتیاج است (Baghalian *et al*., 2011; Razmjoo *et al*., 2008). توده‌های بومی در مقایسه با ارقام تجاری اصلاح‌شده، سازگاری بیشتری نسبت به شرایط نامطلوب محیطی دارند بنابراین انتخاب آن‌ها برای تولید پایدار محصولات کشاورزی در مناطق تحت تنش مطلوب‌تر است (Bahreininejad *et al*., 2013).

شنبلیله (*Trigonella foenum-graceum*) گیاهی دارویی، یک‌ساله و متعلق به تیره بقولات است (Zandi *et al*., 2013)، از برگ و بذر این گیاه برای درمان بیماری دیابت، دستگاه گوارش، دستگاه کبدی و کاهش چربی خون استفاده می‌شود (Kumar *et al*., 2015). شنبلیله گیاهی متحمل به خشکی است که مانند سایر گیاهان خانواده بقولات، با باکتری‌های جنس ریزوبیوم همزیستی دارد و بر

۱- دانشجوی دکتری فیزیولوژی گیاهان زراعی، گروه اگروتکنولوژی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران
۲- استاد گروه اگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران
۳- دانشیار گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شاهد، تهران، ایران
۴- دانشیار گروه اگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران
(*- نویسنده مسئول: Email: m.kafi@um.ac.ir)
DOI: 10.22067/jcesc.2020.38275

این اساس به‌عنوان یک لگوم خشکی‌پسند می‌تواند در تناوب‌های مختلف با گیاهان زراعی به منظور تولید علوفه و افزایش باروری خاک قرار گیرد (Sadeghzadeh Ahari *et al*., 2009; Acharya *et al*., 2008). در توده‌های بومی شنبلیله در ایران تنوع بالایی وجود دارد که می‌تواند در پژوهش‌های مربوط به سازگاری این گیاه به شرایط خشک و نیمه‌خشک مورد مطالعه قرار گیرد (Sadeghzadeh Ahari *et al*., 2014; Bazzazi *et al*., 2013).

زراعت گیاهان دارویی متحمل به خشکی را می‌توان یکی از راهکارهای مطلوب برای توسعه کشت و کار در مناطق خشک و کم آب دانست (Ennajeh *et al*., 2010). گیاهان در مواجهه با تنش خشکی رشد رویشی خود را کوتاه کرده و زودتر به مرحله گلدهی می‌روند (Aliabadi *et al*., 2009) تنش خشکی با محدود کردن میزان آب در دسترس گیاه موجب زودرسی گیاه شده و کاهش زیست‌توده گیاه می‌شود. تنش خشکی موجب کاهش دوره گل‌دهی و تسریع در رسیدگی فیزیولوژیک بذر سه گونه بابونه (*Matricaria spp.*) شد (Houshmand *et al*., 2012). در مطالعه‌ای که بر روی ۲۰ توده بومی شنبلیله انجام شد تنش خشکی موجب کاهش دوره رشد رویشی و تسریع فرآیند گل‌دهی و رسیدگی گیاهان تحت تنش گردید (Sadeghzadeh Ahari *et al*., 2014). در مطالعاتی دیگر تنش خشکی منجر به کاهش دوره رویشی و درنتیجه کاهش زیست‌توده و کاهش ارتفاع گیاه همیشه‌بهار (*Calendula officinalis*) (Rahmani *et al*., 2008) و بادرنجبویه (*Melissa officinalis*) (Aliabadi *et al*., 2009) شد. علوی سامانی و همکاران (Alavi samani *et al*., 2013) در بررسی اثر تنش خشکی بر روی دو گونه آویشن معمولی (*Thymus vulgaris* L.) و آویشن دنایی (*T. daenensis*) دریافتند تنش خشکی موجب کاهش ارتفاع گیاهان موردمطالعه شد.

برای اصلاح گیاهان، صفات زراعی زیادی توسط محققان اندازه‌گیری می‌گردد که ممکن است دارای اهمیت زیادی نباشند (Raychaudhuri *et al*., 2000). ازاین‌رو می‌توان از طریق تجزیه علیت صفات مهم‌تر را جهت اصلاح گیاهان زراعی استفاده کرد (Fikreselassie *et al*., 2012). برای مطالعه تنوع و ارتباط بین خصوصیات مهم زراعی در ارقام گیاهی، استفاده از خصوصیات مورفولوژیکی جهت بررسی ژرم پلاست و طبقه‌بندی آن در گیاهان انجام می‌گردد (Smith and Smith, 1992)، متخصصان اصلاح نبات از تجزیه خوشه‌ای برای تعیین خویشاوندی یا عدم خویشاوندی ژنوتیپ‌های مورد بررسی، در جمعیت‌های گیاهی استفاده می‌کنند (Mohammadi *et al*., 2003). در بررسی محققان بر روی بیست‌و یک اکوتیپ یونجه، شش عامل توانست ۸۰/۵٪ از تغییرات را توجیه نماید، اکوتیپ های مورد بررسی با استفاده از تجزیه خوشه‌ای به چهار گروه مجزا تقسیم‌بندی شدند (Basafa and Taherian, 2009). در تحقیقی، بر روی سی ژنوتیپ شنبلیله انجام شد، شش عامل عملکرد بیولوژیک، شاخص برداشت، وزن خشک در هنگام گلدهی، محتوی کلروفیل کل، تعداد شاخه جانبی و وزن هزار دانه در تجزیه عاملی به‌عنوان مهم‌ترین عامل‌ها برای بهبود عملکرد این گیاه شناخته شدند (Gurjar *et al*., 2016). در بررسی توده‌های بومی شنبلیله نتایج تجزیه عاملی نشان داد، عامل‌های وزن دانه در گیاه (۸۳٪) و وزن هزار دانه (۴۸٪) بیشترین اثر بر روی عملکرد دانه داشتند (Fikreselassie *et al*., 2012).

تحقیقات گسترده‌ای اثر تنش خشکی بر روی محصولات زراعی را روشن نموده است، اما به نظر می‌رسد تاکنون واکنش گیاهان دارویی به تنش خشکی به‌خوبی مطالعه نشده است. ازآنجاکه کشت گیاهان دارویی بومی ازجمله شنبلیله در ایران اخیراً موردتوجه زیادی قرارگرفته است انجام تحقیقات بیشتر در زمینه‌ی تأثیر تنش خشکی بر روی شاخص‌های مختلف رشدی و همچنین بهبود بهره‌وری مصرف آب در زراعت آن‌ها مورد نیاز است. با توجه به این‌که در مناطق خشک و نیمه‌خشک در بین منابع تولید، بهره‌برداری بهینه از آب در تولید شنبلیله از اهمیت زیادی برخوردار است (Gorgini Shabankareh *et al*., 2015) و از طرفی شاخص‌های مهم عملکرد و مورفولوژیک این گیاه در شرایط تنش هنوز به‌خوبی شناسایی نشده است لذا این پژوهش با هدف مطالعه عملکرد و اجزای عملکرد توده‌های بومی‌های شنبلیله در پاسخ به سطوح مختلف تنش خشکی و تعیین مهم‌ترین صفات مؤثر در عملکرد شنبلیله صورت گرفت.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در دو سال زراعی ۹۴-۱۳۹۳ و ۹۶-۱۳۹۵ در مزرعه‌ی تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه شاهد تهران با طول جغرافیایی '۵۱°۸ شرقی و عرض جغرافیایی '۳۵°۳۴ شمالی و ارتفاع ۱۱۹۰ متری از سطح دریا اجرا شد (به دلیل عدم استقرار مناسب گیاهان در مزرعه در سال زراعی ۹۵-۱۳۹۴، آزمایش سال دوم در سال زراعی بعدی انجام شد). منطقه دارای اقلیم خشک (بر پایه طبقه‌بندی سیلیانینف) و متوسط بارندگی و درجه حرارت سالانه به‌ترتیب ۲۳۸/۹ میلی‌متر و ۱۷/۷ درجه سانتی‌گراد بود. داده‌های میانگین بارندگی، دما و میانگین حداکثر و حداقل دما مربوط به ماه‌های رویش شنبلیله در مزرعه در جدول ۱ نشان داده‌شده است.

آزمایش‌ها به‌صورت کرت‌های خردشده (اسپلیت‌پلات) در قالب طرح پایه‌ی بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. کرت اصلی شامل چهار سطح آبیاری (۲۰٪ ظرفیت زراعی (تنش شدید)، ۴۰٪ ظرفیت زراعی (تنش متوسط)، ۶۰٪ ظرفیت زراعی تنش ملایم) و ۸۰٪ ظرفیت زراعی (بدون تنش؛ شاهد) و کرت‌های فرعی ۹ توده بومی شنبلیله (نیشابور، شیروان، مشهد، تبریز، رودسر، اصفهان، همدان، اردستان و شیراز) بودند.

جدول ۱- داده‌های دما و بارش ایستگاه سینوپتیک فرودگاه امام خمینی (نزدیک‌ترین ایستگاه هواشناسی به مزرعه آزمایشی) در طول دوره آزمایش طی سال‌های آزمایش

Table 1- Temprature and precipitation data of sinoptic meteorological station of Immam Khomeini Airport (The nearest meteorological station to experimental farm) during years of the experiment

سال Year	ماه Month	میانگین حداقل دما Average minimum temperature (°C)	میانگین حداکثر دما Average maximum temperature (°C)	میانگین ماهانه دما Average temperature(°C)	مجموع بارندگی Total rainfall (mm)
2014 2015	فروردین April	11.2	20.5	15.9	31.0
	اردیبهشت May	17.2	28.2	22.7	2.0
	خرداد June	23.3	35.0	27.2	2.0
	تیر July	25.7	37.7	31.5	9.1
	مرداد August	24.9	36.6	30.7	0.0
2016 2017	فروردین April	10.1	19	14.5	29.2
	اردیبهشت May	16.6	27.8	22.3	25.6
	خرداد June	22.2	34.5	28.4	0.0
	تیر July	24.0	36.2	30.1	6.1
	مرداد August	24.6	36.2	30.3	0.0

عملیات آماده‌سازی زمین برای کاشت بـذور در اسـفند مـاه سـال قبل از هر آزمایش با استفاده از گاوآهن برگردان‌دار و دو بـار دیسـک عمود بر هم و همچنین استفاده از لولر انجام شد. سپس، با اسـتفاده از فاروئر ردیف‌هایی با فاصله ۵۰ سانتی‌متر ایجاد و کرت‌هایی با مساحت شش مترمربع تهیه شد. بذور از مراکز جهاد کشاورزی شهرستان‌هـای نیشابور، شیروان، مشهد، تبریز، رودسر، اصفهان، همـدان، اردسـتان و شیراز و یا از کشاورزان معتبر هر منطقه تهیه شد. عملیات کاشت بسته به شرایط آب و هوایی در سال زراعی ۹۴-۱۳۹۳ در سوم فـروردین و در سال زراعی ۹۷-۱۳۹۶ در هجدهم فروردین انجـام شـد. فاصـله‌ی کاشت بذرها روی ردیف چهار سانتی‌متر بود. اولین آبیـاری بلافاصـله پس از کاشت و دومین آبیاری به‌منظور تسهیل خـروج گیاهچـه‌هـا از خاک سه روز پس از کاشت تـا حـد ظرفیـت مزرعـه‌ای انجـام شـد و آبیاری‌های بعدی تا پایان فصـل رشـد بـا در نظر گـرفتن تیمارهـای آزمایش به روش نشتی و بر اساس روش رطوبت وزنـی خـاک انجـام شد. پس از استقرار گیاه تنک کردن گیاهـان در مرحلـه چهـار برگـی برای رسیدن به تراکم مناسب انجام گرفت و علف‌هـای هـرز نیـز در طول دوره رشد به‌صورت دستی کنترل شدند.

برای تعیین ظرفیت زراعی بـه‌منظـور اِعمـال تیمارهـای آبیـاری، اندازه‌گیری رطوبت خـاک بـه روش وزنـی انجـام شـد (Alizadeh, 2006)، بدین منظور پس از آبیاری هر ۲۴ ساعت یـک‌بـار اقـدام بـه برداشت نمونه خاک از عمق توسعه ریشه (۰ تا ۳۰ سانتی‌متری) شـد. نمونه‌های برداشت‌شده بلافاصله توزین شده و پس از قرار دادن آن‌ها در آون با دمای ۱۰۴ درجه سانتی‌گراد به مدت ۱۲ ساعت، مجدداً وزن شدند و پس از محاسبه درصد رطوبت نمونه، این شـاخص بـه‌عنـوان ظرفیت زراعی منظور شد. پس‌ازآن، در صورت نیاز تا رساندن رطوبـت خاک به درصد رطوبت موردنظر برای هر تیمـار، حجـم آب معـین بـا استفاده از کنتور حجمی به هر کرت اضافه شد.

در طول دوره رشد، برای تمامی تیمارها زمان گل‌دهی و رسیدگی و ارتفاع اولین غلاف از سطح خاک گیاهان ثبت شد. (توده‌های بـومی دارای ارتفاع بلندتر اولین غلاف از سطح زمین برای برداشت مکـانیزه گیاهان مطلوب‌تر اسـت). در انتهـای فصـل رشـد، بـه‌منظـور تعیـین خصوصیات مورفولوژیکی و اجزای عملکرد، هفـت بوتـه از هـر کـرت

به‌صورت تصادفی برداشت شد و پس از انتقال بـه آزمایشـگاه ارتفـاع بوته و طول ساقه اصلی و تعداد و طول شـاخه‌هـای فرعـی و ارتفـاع اولین غلاف نسبت به طوقه گیاه (نسبت به سطح زمین) و نیـز تعـداد غلاف در بوته تعداد دانه در غلاف و وزن هزار دانه اندازه‌گیـری شـد. همچنین، پس از حذف دو ردیف کناری و نیز نیم متر از ابتدا و انتهای هر کرت به‌عنوان اثر حاشیه، مابقی سطح کرت برداشـت و دانـه‌هـا از غلاف جدا شد پس از توزین گیاهان و دانـه‌هـای جداشـده، داده‌هـای مذکور برای محاسبه عملکردهای دانـه و زیسـت‌تـوده اسـتفاده شـد. شاخص برداشت نیز از تقسیم عملکرد دانه بـر کـل وزن زیسـت‌تـوده تولیدی (دانه+کاه) به‌دست آمد.

تجزیه عاملی (به‌منظور کاهش تعـداد داده‌هـا و همچنـین تعیـین متغیر دارای اهمیت بالاتر)، بررسی همبستگی مناسب بـین متغیرهـا و همچنین کفایت اندازه نمونه به‌ترتیب با استفاده از آزمون کیزر مایر [1] و آزمون کرویت بارتلت [2] انجام شد. با توجه به نتایج آزمون کیـزر مـایر، همبستگی بین متغیرها برای تجزیـه عـاملی مناسـب بـود و معنـی‌دار شدن آزمون کرویت بارتلت نشان داد، اندازه نمونه برای تجزیه عاملی مناسب بود بنابراین بزرگ‌تـرین ضـریب عـاملی در هـر عامـل بـرای نام‌گذاری عامل‌ها مورد اسـتفاده قـرار گرفـت. همچنـین، از میـانگین حاصل از ارزیابی توده‌های بومی در طی دو سال زراعـی بـرای انجـام تجزیه خوشه‌ای به روش دورترین همسایه‌ها با برآورد فاصله اقلیدسی بین افراد برای شناسـایی و تعیـین گـروه‌هـای خویشـاوند بـر اسـاس داده‌های استانداردشده استفاده گردیـد. رگرسـیون چندگانـه بـه روش گام‌به‌گام انجام شد و در آن فرضیات انجام رگرسیون شـامل مسـتقل بودن خطای آزمایشی (آزمون دوربین–واتسون)، نرمال بـودن خطـای آزمایشی، وجود یا عدم وجود هم‌راستایی و بررسی داده‌های پرت مورد بررسی قرار گرفت. با استفاده از آزمون بارتلت داده‌هـای هـر دو سـال آزمایش جهت آزمون یکنواخت بودن واریانس بررسی شد و با توجه به معنی‌دار نبودن این آزمون، از تجزیه مرکب داده‌های دو سال اسـتفاده گردید، تجزیه‌وتحلیل داده‌ها و ترسیم شـکل بـا اسـتفاده از نـرم‌افـزار SPSS Ver.16 و مقایسه‌ی میـانگین‌هـا بـا اسـتفاده از آزمـون چنـد دامنه‌ای دانکن و در سطح احتمال پنج درصد انجام شد.

نتایج و بحث

روز تا رسیدگی: نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد کـه اثـر تمامی عامل‌های سال، تنش (خشکی) و توده بـومی و اثـرات متقابـل دوگانه و سه‌گانه آن‌ها بر تعداد روز تا رسیدگی معنی‌دار بود (جدول ۲).

تنش خشکی موجب کاهش روز تا رسیدگی در بیشـتر تـوده‌هـای بومی شنبلیله گردید. در تیمار شاهد بیشترین روز تا رسیدگی در تـوده بومی نیشـابور و کمتـرین روز تـا رسـیدگی در تـوده بـومی اردسـتان مشاهده شد (جدول ۴). در اثر متقابل تنش خشکی و توده‌های بـومی بیشترین و کمترین درصـد کـاهش روز تـا رسـیدگی در تـنش شـدید خشکی در مقایسه با تیمار شاهد به‌ترتیب در توده‌های بـومی نیشـابور (۲۰/۷٪) و اردستان (۹/۶۷٪) مشاهده شد (جدول ۴). دلیل این امـر را می‌توان تیپ رویشی خزنده و خصوصـیات ژنتیکـی ایـن تـوده بـومی دانست. توده بومی اردستان بـه علـت داشـتن رسـیدگی فیزیولوژیـک سریع‌تر نسبت به سایر توده‌های مورد بررسی می‌تواند از تنش خشکی فرار کند. در سال دوم آزمایش برخورد زمان غلاف‌دهی و دانـه‌بنـدی توده‌های بومی‌های مورد مطالعه با دماهـای بـالاتر، تـاریخ رسـیدگی فیزیولوژیک نسبت به سال اول تسـریع گردیـد (جـدول ۳). بـه نظـر می‌رسد گل‌دهی زودهنگام برخـی از تـوده‌هـای بـومی موجـب عـدم برخورد مراحل غلاف‌دهی و دانه‌بندی بین آن‌ها با تـنش دمـایی آخـر فصل و تخفیف اثر تنش خشکی بر روی رسیدگی فیزیولوژیکی آن‌هـا شده است (Sadeghzadeh Ahari *et al*., 2014). در مطالعه‌ای کـه به بررسی روی توده‌های بومی شنبلیله در هندوستان انجام شـد، بـین توده‌های بومی تنـوع کمـی در روز تـا گـل‌دهـی و روز تـا رسـیدگی مشاهده شد، ازاین‌رو این تـوده‌هـا سـازگاری کمـی را در مواجهـه بـا تغییـرات دمـایی آخـر فصـل داشـتند (Chandra *et al*., 2000). در مطالعه‌ای که محققان بر روی توده‌های بومی شـنبلیله انجـام دادنـد، بیشترین تعداد روز تا گل‌دهی و رسیدگی در تیمار شاهد (بدون تـنش) مشاهده شد (Sadeghzadeh Ahari *et al*., 2009; Sadeghzadeh Ahari *et al*., 2014; Bazzazi *et al*., 2013). در بررسـی اثـر خشکی بر روی گیاه دارویی بابونه نیز تنش خشـکی موجـب کـاهش زمان رسیدگی و دوره گل‌دهی شد در گیاهان تحت تـنش نسـبت بـه تیمار شاهد گردید (Houshmand *et al*., 2012).

صفات مورفولوژیک: تجزیه واریانس مرکب داده‌های مربوط به صفات مورفولوژیک نشان داد، بین تیمارها در دو سال زراعی آزمایش، از نظر طـول میـانگره، طـول شـاخه جـانبی و ارتفـاع اولـین غـلاف تشکیل‌شده اختلاف معنی‌داری وجود داشت، اما از ارتفاع بوتـه از ایـن عامل اثر معنی‌داری نپذیرفت. همچنین اثـر سـایر عامـل‌هـا و اثـرات متقابل آن‌ها شامل عامل‌های تنش (خشـکی)، تـوده بـومی و اثـرات متقابل سال–تنش، توده بومی–تنش، توده بومی–سـال و اثـر متقابـل سه‌گانه سال–توده بومی–تنش بر ارتفاع بوتـه، طـول میـانگره، طـول شاخه جانبی و ارتفاع اولین غلاف تشکیل‌شده معنی‌دار بود (جدول ۲).

ارتفاع بوته و طول میانگره: در تیمار تنش شدید خشکی، ارتفاع بوته در توده بومی نیشابور نسـبت بـه تیمـار شـاهد ۷۳/۳۸٪ کـاهش یافت، بیشترین میزان کاهش این شاخص در بین تـوده‌هـای شـنبلیله بود. کمترین کاهش این شاخص نیـز در تـوده بـومی همـدان (حـدود ۲۹/۴۶٪) بود. توده بومی شیروان بیشـترین ارتفـاع بوتـه را در تیمـار شاهد و تنش ملایم داشت (جدول ۴).

1- Kaiser Meyer Olkin KMO
2- Bartlet test of sphericity

جدول ۲- تجزیه واریانس صفات مختلف مورفولوژیک و عملکرد شنبلیله تحت تأثیر توده‌های بومی و تنش خشکی طی دو سال زراعی ۹۴-۱۳۹۳ و ۹۶-۱۳۹۵

Table 2- ANOVA of different morphological and yield traits of Fenugreek landraces in two growth seasons of 2013-14 and 2015-16

منبع تغییرات SOV	درجه آزادی d.f	Mean squires میانگین مربعات										
		روز تا رسیدگی Day to maturity	ارتفاع بوته Plant height	طول میانگره Internode length	طول شاخه جانبی Length branches	ارتفاع اولین غلاف Height of first pod	تعداد غلاف در بوته Total Pods in plant	تعداد دانه در غلاف Seeds in pod	وزن ۱۰۰۰ دانه 1000-seed weight	عملکرد زیستتوده Biological yield	عملکرد دانه Seed yield	شاخص برداشت Harvest index
Year (Y) سال	1	14.25**	3.84^{ns}	0.02^{ns}	6830**	3.70^{ns}	1.70**	1.01^{ns}	0.24^{ns}	248^{ns}	24.5 ^{ns}	32**
Block بلوک (B)	4	3038**	1.50^{ns}	0.49**	13.6^{ns}	29.33**	65.60**	480**	4.30**	49508**	2443.0**	3108**
Stress تنش (S)	3	1685**	3471**	17.20**	20203**	896**	849**	168**	167**	370078**	40651.0**	1627**
Y×S	3	82.88**	141**	0.04**	134**	21.20**	26.60**	10.30**	14.50**	14393**	1913.0**	1257**
خطای اصلی Main Error	12	2.81^{ns}	6.67	0.02	25.6**	3.90	1.14	1.72	0.07	144	26.7	11.5
توده بومی Landrace (L)	8	2138**	161**	2.56**	2396**	69.30**	65**	15.30**	53.90**	12974**	1740.0**	434**
L×S	24	63.63	43.50**	0.16**	648**	11.40**	27.10**	20**	5.49**	8612**	1245.0**	94.60**
L×Y	8	395.50	15.60**	0.13**	248**	13.10**	14.10**	9.13**	3.70**	3054**	506.0**	85.20**
L×Y×S	24	58.71	17.70**	0.167**	187**	2.72*	13.40**	9.08**	2.69**	3071**	521.0**	64.20**
خطای فرعی-Sub-error	128	2	2.60	0.03	5.04	1.66	0.32	2.40	0.23	113	11.7	8.17
CV (%)		2.1	6.9	7.0	11.5	7.8	10.4	10.4	5.3	11.0	10.5	9.2

ns، ** و * به‌ترتیب به معنای غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال یک و پنج درصد

ns, ** and * means not significant and significant at probability level of 1 and 5 percent, respectively.

تنش خشکی با کاهش رشد سلول‌های گیاهی می‌تواند سبب کاهش ارتفاع گیاهان تحت تنش شود (Aryafar *et al.*, 2013). بیشترین و کمترین کاهش طول میانگره در دو توده بومی نیشابور و شیروان به‌ترتیب با ۵۷/۷۳٪ و ۳۵/۰۶٪ در تنش شدید خشکی در مقایسه با تیمار شاهد مشاهده شد (جدول ۴). دلیل کوتاه‌تر بودن میانگره‌ها در توده بومی نیشابور در تنش خشکی را احتمالاً می‌توان به دلیل خصوصیات ژنتیکی و تیپ رویشی (خوابیده) این گیاه دانست. به‌طورکلی تنش خشکی با تسریع گل‌دهی و کاهش ارتفاع گیاه موجب کاهش طول میانگره در گیاهان تحت تنش می‌گردد. در بررسی ژنوتیپ‌های نخود (*Cicer arietinum*) تحت سطوح مختلف تنش، تنش خشکی موجب کاهش ارتفاع ساقه در تمامی ژنوتیپ‌های مورد بررسی در مقایسه با تیمار شاهد گردید (Mafakheri *et al.*, 2010). در مطالعه‌ای که بر روی ده ژنوتیپ باقلا (*Vicia faba*) انجام شد. بیشترین ارتفاع گیاه در تیمار شاهد مشاهده شد و ژنوتیپ‌ها در این صفت تحت شرایط خشکی تفاوت نشان دادند (Siddiqui *et al.*, 2015). در مطالعه دیگری که بر روی ژنوتیپ‌های لوبیای قرمز (*Phaseolus coccineus*) انجام شد، همبستگی بالایی بین ارتفاع بوته و طول میانگره مشاهده شد (Naseh Ghafoori *et al.*, 2012). طول میانگره در سال دوم آزمایش در مقایسه با سال اول بیشتر بود، می‌توان دلیل آن را به رشد رویشی بیشتر در سال دوم به دلیل بارندگی بیشتر در ماه‌های اولیه رشد گیاهان تحت تنش نسبت داد (Faraji, 2014). در تحقیقی که محققان که بر روی اثر تنش خشکی بر روی لاین‌های شنبلیله در سه سال زراعی انجام دادند، در سال کم باران تنش متوسط و شدید خشکی به‌ترتیب موجب کاهش ارتفاع بوته در لاین Amber (۱۵ و ۳۲٪) و Tristar (۸ و ۳۱٪) مورد بررسی در مقایسه با تیمار شاهد گردیدند، در سال پر باران در تیمارهای تنش و عدم تنش تفاوتی در ارتفاع گیاه نشان ندادند (Pavlista and Santra, 2016). در بررسی تنش خشکی بر روی گیاه شنبلیله تیمار

کم آبیاری در مقایسه با تیمار شاهد موجب کاهش ۱۵ درصدی ارتفاع گیاه گردید (Ahmed *et al*., 2018).

طول شاخه جانبی: در اثر متقابل تنش خشکی و اکوتیپ بیشترین و کمترین درصد کاهش طول شاخه جانبی در تنش ۴۰ درصد ظرفیت زراعی در مقایسه با تیمار شاهد به‌ترتیب در اکوتیپ همدان (۱۰۰٪) و نیشابور (۵۱/۰۹٪) مشاهده شد، در بین اکوتیپ‌ها نیز در تنش ۲۰ درصد ظرفیت زراعی تنها اکوتیپ اصفهان شاخه جانبی تولید کرد (جدول ۴). یکی از اثرات فیزیولوژی تنش خشکی بر روی گیاهان کاهش رشد رویشی به‌خصوص رشد شاخسارها است. با توجه به بارندگی بیشتر ماه‌های ابتدای رشد در سال دوم آزمایش طول شاخه جانبی بالاتر در این سال نسبت به سال اول آزمایش مشاهده شد (جدول ۱). در تیمار عدم تنش بیشترین تعداد شاخه جانبی در بوته مربوط به اکوتیپ نیشابور بود. اکوتیپ نیشابور دارای فرم رشدی خوابیده بود و به‌جای افزایش ارتفاع، تعداد شاخه جانبی خود را در شرایط عدم تنش افزایش داد. با توجه به تعداد کمتر شاخه جانبی در تیمار شاهد و تنش متوسط در اکوتیپ همدان می‌توان با تراکم بالاتر این گیاه را کشت نمود. تنش خشکی در ژنوتیپ‌های نخود موجب کاهش طول شاخه‌های جانبی به علت رشد نامحدود بودن این گیاه شد و در بین ژنوتیپ‌های مورد مطالعه تفاوت مشاهده شد (Shaban *et al*., 2013).

ارتفاع اولین غلاف تشکیل‌شده: در تنش شدید خشکی ارتفاع اولین غلاف از سطح زمین در توده بومی نیشابور ۵۵/۹۵٪ نسبت به تیمار شاهد کاهش داشت، در توده بومی اردستان کاهش این شاخص به میزان ۳۶/۰۲٪ ثبت شد. بیشترین ارتفاع اولین غلاف از سطح زمین در تیمار شاهد در توده نیشابور، در تنش ملایم در توده مشهد و نیشابور و در تنش شدید در توده همدان مشاهده شد (جدول ۴). به نظر می‌رسد پایین‌تر بودن میانگین دمای ماهانه و بارندگی بالاتر در ماه‌های ابتدای کشت در سال دوم در مقایسه با سال اول آزمایش، به دلیل افزایش رشد رویشی (افزایش ارتفاع گیاه) قبل از وارد شدن گیاهان به فاز زایشی موجب افزایش ارتفاع اولین غلاف تشکیل‌شده از سطح زمین در مقایسه با سال اول شده است. از دلایل افزایش ارتفاع تشکیل اولین غلاف در توده بومی نیشابور را می‌توان گلدهی دیرهنگام این توده نسبت به سایر توده‌های بومی دانست (Rezvani and Sadeghi, 2007). از سوی دیگر، کاهش ارتفاع غلاف تولیدی در اثر تنش خشکی را می‌توان به گل‌دهی سریع‌تر و تشکیل زودتر اندام‌زایشی در گیاهان تحت تنش مربوط دانست. همبستگی بالایی بین ارتفاع بوته و طول میانگره با ارتفاع اولین غلاف تشکیل‌شده از سطح زمین وجود داشت (جدول ۵). تنش خشکی موجب کاهش ارتفاع بوته و به‌تبع آن کاهش ارتفاع اولین اندام‌زایشی در بوته‌های تحت تنش گردید. در مطالعه‌ای که محققان بر روی ژنوتیپ‌های گلرنگ (*Carthamus tinctorius*) (Farokhinia *et al*., 2011) و نخود (Shaban *et al*., 2012) انجام دادند، کمترین ارتفاع طبق و غلاف تشکیل‌شده نسبت به سطح زمین در تیمار تنش خشکی مشاهده شد.

جدول ۳- اثر اصلی سال زراعی بر صفات فنولوژیک، مورفولوژیک، عملکرد و اجزای عملکرد توده‌های بومی شنبلیله

Table 3- Main effect of growth season phenologic, morphologic and yield and yield components of Fenugreek

سال زراعی Growth sesason	تعداد روز تا رسیدگی Number of days to maturity	ارتفاع بوته Plant height (cm)	طول میانگره Internode length (cm)	طول شاخه جانبی length branches (cm)	ارتفاع اولین غلاف تشکیل‌شده The first formed pod(cm)	تعداد غلاف در بوته Number of pods per plant	تعداد دانه در غلاف Number of Seeds per pod	وزن هزار دانه 1000-seed weight (g)	عملکرد زیست‌توده Biological yield (g/m^2)	عملکرد دانه Seed yield (g/m^2)	شاخص برداشت Harvest index (%)
۹۴-۱۳۹۳ 2014-15	78.63a	23.52a	2.21b	13.33a	16.38b	4.91b	10.50a	9.04b	82.25b	28.04b	35.05a
۹۶-۱۳۹۵ 2016-17	71.13b	23.43a	2.31a	24.57b	17.16a	6.04a	7.55b	9.35a	113.35a	35.05a	27.54b

در هر ستون حروف مشترک نشان‌دهنده عدم وجود اختلاف معنی‌دار در تفاوت میانگین‌ها بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد می‌باشد

Means followed by similar letters in each column are not significantly different at 5% probability level, using Dancan's multiple rang test.

عملکرد و اجزای عملکرد: تمامی اجزای عملکرد شامل تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در غلاف، وزن هزار دانه و همچنین عملکردهای زیست‌توده و دانه و شاخص برداشت از تیمارهای آزمایش تأثیر معنی‌داری پذیرفتند (جدول ۲).

تعداد غلاف در بوته: در تنش شدید، تعداد غلاف خشکی توده بومی شیروان ۹۱/۸۳٪ نسبت به تیمار شاهد کاهش پیدا کرد و در توده بومی اصفهان این میزان کاهش برابر با ۷۲/۲۱٪ بود. بیشترین تعداد غلاف در بوته در تیمارهای شاهد توده بومی شیروان، تنش ملایم توده بومی رودسر، تنش متوسط و شدید توده نیشابور مشاهده شد (جدول ۴). با توجه به برخورد زمان گل‌دهی و اوایل غلاف‌دهی گیاهان در سال اول به دمای بالا، شاخص تعداد غلاف در بوته کمتر از سال دوم بود (جدول ۳). در پژوهشی که به مطالعه توده‌های بومی شنبلیله پرداخته‌شده بود، بین توده‌های بومی تنوع زیادی در تعداد غلاف مشاهده شد (Sadeghzadeh Ahari *et al.*, 2014). در تحقیقی دیگر که بر روی توده‌های بومی شنبلیله (Sadeghzadeh Ahari *et al.*, 2009; Bazzazi *et al.*, 2013) تحت تنش خشکی انجام شد، بیشترین تعداد اجزای عملکرد در تیمار عدم تنش خشکی مشاهده شد و از سوی دیگر، بین ژنوتیپ‌ها و توده‌های بومی مورد بررسی تفاوت معنی‌داری در شرایط تنش و عدم تنش وجود داشت. در تحقیقی که چائوهان و همکاران (Chauhan *et al.*, 2017) بر روی تعداد غلاف در بوته ژنوتیپ های شنبلیله تحت تنش خشکی انجام دادند، بیشترین و کمترین درصد کاهش تعداد غلاف در بوته در ژنوتیپ‌های مورد بررسی به‌ترتیب با ۲۸ و ۳ درصد را در ژنوتیپ‌های Rmt-303 و Rmt-305 نسبت به تیمار عدم تنش مشاهده کردند، در تمامی ژنوتیپ‌های مورد بررسی تنش موجب کاهش تعداد غلاف در بوته گردید.

تعداد دانه در غلاف: در تنش شدید خشکی تعداد دانه در غلاف در توده بومی تبریز ۷۴/۴۹٪ نسبت به تیمار شاهد کاهش پیدا کرد، درحالی‌که این کاهش در توده بومی اردستان تنها حدود ۱۴/۷۸٪ بود (جدول ۴). بیشترین تعداد دانه در غلاف در تیمار بدون تنش (شاهد) توده بومی تبریز، تنش ملایم توده بومی شیراز، تنش متوسط و تنش شدید توده بومی اردستان مشاهده شد (جدول ۴). در سال دوم تعداد دانه در غلاف کمتری نسبت به سال اول مشاهده شد، دلیل آن را می‌توان رشد رویشی بیشتر در سال دوم آزمایش دانست که با تولید غلاف بیشتر، احتمالاً به دلیل محدودیت منبع فیزیولوژیک، تعداد دانه تشکیل‌شده در هر غلاف کاهش یافت (Bazzazi *et al.*, 2013). اگرچه در این پژوهش اختلاف معنی‌داری بین توده‌های بومی در زمینه‌ی تعداد دانه در غلاف وجود داشت اما در پژوهشی دیگر، مطالعه توده‌های بومی شنبلیله نشان داد که بین توده‌های بومی تنوع کمی در تعداد دانه در غلاف وجود دارد (Chandra *et al.*, 2000). یافته‌های پژوهش حاضر با نتایج تحقیق (Sadeghzadeh Ahari *et al.*, 2014) که توده‌های بومی گیاه شنبلیله را مطالعه کرده بودند مطابقت دارد. این محققان گزارش کردند که بیشترین تعداد دانه در غلاف در تیمار شاهد خشکی مشاهده شد و در بین توده‌های بومی مورد بررسی در شرایط تنش و عدم تنش خشکی تفاوت معنی‌داری وجود داشت. در مطالعه دیگری که مهر آفرین و همکاران (Mehrafarin *et al.*, 2010) بر روی توده‌های بومی شنبلیله انجام دادند تفاوت معنی‌داری در بین تعداد دانه در غلاف در توده‌های بومی مختلف وجود داشت. در بررسی صادق زاده اهری و همکاران (Sadeghzadeh Ahari *et al.*, 2016) بر روی توده‌های بومی شنبلیله تنش خشکی موجب کاهش تعداد دانه در غلاف در تمامی توده‌های مورد مطالعه شد.

وزن هزار دانه: در تنش متوسط، وزن هزار دانه در توده بومی شیروان ۴۳/۸۷٪ نسبت به تیمار شاهد کاهش داشت، درصورتی‌که در توده بومی رودسر وزن هزار دانه ۴/۲۵٪ کاهش یافت. بیشترین وزن هزار دانه در تیمار بدون تنش (شاهد) رقم بومی شیروان، تنش ملایم رقم بومی تبریز و تنش متوسط و شدید رقم بومی همدان مشاهده شد (جدول ۴). وزن هزار دانه دارای همبستگی مثبت و بالایی با ارتفاع گیاه و طول میانگره و همبستگی منفی با روز تا رسیدگی بود (جدول ۵).

با توجه به تولید زیست‌توده بالاتر در سال دوم آزمایش در مقایسه با سال اول به نظر می‌رسد ایجاد منبع بالاتری از تولید مواد فتوسنتزی بالاترین وزن هزار دانه در این سال در مقایسه با سال اول مشاهده شد (جدول ۳). دلیل افزایش وزن هزار دانه در تیمار شاهد را می‌توان به دلیل افزایش طول دوره رشدی و همچنین زمان بیشتر برای پر شدن دانه‌ها دانست. بروز تنش شدید خشکی در گیاهان رشد نامحدود به دلیل کاهش طول دوره پر شدن دانه و نیز کاهش انتقال کربوهیدرات‌ها به دانه به دلیل کاهش سطح برگ و به تبع آن فتوسنتز کمتر موجب کاهش وزن دانه می‌شود (Sreevalli, *et al.*,2001). می‌توان علت افزایش وزن هزار دانه در تیمار تنش ملایم خشکی را کاهش بیشتر تعداد دانه تولیدی نسبت سطح فتوسنتزکننده گیاه در تیمار عدم تنش دانست که منجر به افزایش وزن تک‌دانه در بوته شده است. در مطالعه دیگری که بر روی توده‌های بومی شنبلیله انجام گرفت، کمترین وزن هزار دانه در تیمارهای تنش خشکی و حداکثر آن در تیمار بدون تنش (شاهد) مشاهده شد و بین توده‌های بومی در خصوص وزن هزار دانه در شرایط تنش و عدم تنش تفاوت معنی‌داری وجود داشت (Bazzazi *et al.*, 2013). در مطالعه‌ای که بر روی ژنوتیپ‌های شنبلیله، تنش خشکی به‌ترتیب موجب کاهش ۱۴ و ۹ درصدی وزن هزار دانه در ارقام Rmt-365 و Rmt-1 در مقایسه با تیمار عدم تنش گردید (Chauhan *et al.*, 2017).

جدول ٤- مقایسه میانگین اثرات متقابل سطوح تنش خشکی و توده‌های بومی شنبلیله بر خصوصیات رشد، عملکرد و اجزای عملکرد در دو سال ۱۳۹٤ و ۱۳۹٦

Table 4- Mean comparison of mean interactions of drought stress and ecotype on growth characteristics, yield components and yield of fenugreek during 2014 and 2016

تنش Stress	توده بومی Lanrace	روز تا رسیدگی Day to maturity	ارتفاع Plant height (cm)	طول میان گره Internode length (cm)	ارتفاع اولین غلاف تشکیل‌شده Height of first pod (cm)	طول شاخه‌های جانبی Branches length (cm)	تعداد غلاف Pods per plant	تعداد دانه در غلاف Seeds per pod	وزن ۱۰۰۰ دانه 1000 seeds weight (g)	زیست‌توده Biological yield ($g.m^{-2}$)	عملکرد دانه Seed yield ($g.m^{-2}$)	شاخص برداشت Harvest (٪)index
٪80 FC	(N) نیشابور	100a	35.7b	2.65fg	25.20a	75.26a	13.70b	9.53ck	7.74kn	234.86b	51.54de	21.55hj
	(Shi) شیروان	79.3d	40.5a	2.88cf	21.90bc	66.6a	17.40a	11.80ag	12.90ab	336a	127.84a	37.95ad
	(M) مشهد	77.2de	35.1b	3.07cd	24.20a	49.53b	9.72de	14.30ab	10.60df	274.51b	94.77b	34.47af
	(T) تبریز	77de	39.6a	3.15bc	24.80a	29.6eg	7.37eh	14.90a	12.80ab	260.78b	79.45c	31.08dh
	(R) رودسر	93.7bc	24.2fj	2.12jm	17.20fj	67.8a	16.50a	10.70bi	6.81mo	257.43b	78.41c	29.65di
	(I) اصفهان	75.2dg	29.5c	2.92cf	19.60de	27eh	6.55fi	8.77fk	8.53il	99.89eg	30.61fj	30.90dh
	(H) همدان	76.2df	33.7b	3.62a	23.40ab	20.7gi	5.48hj	12.90ad	12cb	134.05de	46.31df	34.55af
	(A) اردستان	70.3dh	29.0cd	3.40ab	18.60eg	33.7df	12.40bc	11.50ag	9.91eh	153.24cd	55.87d	37.35ae
	(Shr) شیراز	77de	29.5c	2.90cf	21cd	36.4ce	8.25df	12.80ae	9.12gj	175.36c	55.86d	32.18bg
٪60 FC	(N) نیشابور	101.3ab	22.0ij	1.733np	19.50de	47.1bc	8.03dg	7.95gk	7.90jm	116.14de	29.42gj	25.32fj
	(Shi)شیروان	72.7dh	28.3ce	2.48gh	19.20df	11.1ik	4.87hk	10.10cj	11.90cb	84.86fg	36.67eh	43.35a
	(M) مشهد	71.7dh	27.0cg	2.20hk	19.70de	10.ik	4.67ik	12.57af	13 ab	79.72fg	30.31fj	38.37ad
	(T) تبریز	70.7dh	27.7cf	2.67df	15.50hl	9.83ik	4.57il	9.53ck	13.60a	94.35eh	35.95fh	37.33ae
	(R) رودسر	90.7c	26.3ch	1.77np	15.30hl	42.7bd	10.25cd	12.70ae	8.08jm	120.43de	39.28eg	32.28bg
	(I) اصفهان	71dh	22.4ij	2.43gi	15.90hl	11.8ik	4.38im	9.68ck	10.4dg	73.79fg	24.54gj	33.67af
	(H) همدان	70.3dh	28.0ce	2.95ce	18.90df	13.4ik	4.93hk	8.23gk	11.40cd	74.33fg	27.80gj	37.53ae
	(A) اردستان	67.3fh	25.7dh	2.80df	17fj	16.4hg	5.75gj	9.78ck	11.10ce	91.39eh	34.94fi	38.25ad
	(Shr) شیراز	72.5dh	24.2fj	2.42gi	17.60eh	21.7fi	4.54il	13.02ac	9.81eh	98.20eg	32.72fj	33.33af
٪40 FC	(N) نیشابور	94.5bc	17.3lm	1.55pq	14.20kn	36.2ce	5.80gj	7.83hk	6.91mo	89.99eh	16.92jl	20.78hj
	(Shi)شیروان	71.0dh	23.6gj	2.08jm	17.60ei	6.83jk	3.23jo	9.08dk	10.80ce	75.52fg	26.02gj	34.92af
	(M) مشهد	70.2dh	22.0ij	2jm	17.10fj	8.38ik	3.35jo	7.98gk	10.10dh	54.58gi	16.83jl	29.97di
	(T) تبریز	69.3eh	21.0jk	2.20hk	15.20il	5.98jk	3.22jo	8.92ek	8.80hk	55.53gi	16.09jl	29.25dj
	(R) رودسر	88.2c	16.4ln	1.83mp	12.90mp	8.61ik	4.23in	9.13ck	7.88jm	52.92gi	20.58hl	39.83a
	(I) اصفهان	67.8eh	20.9jk	2.08jm	14.30kn	8.59ik	3.37jo	8.47gk	9.54fi	52.60gi	21.60hk	42.83a
	(H) همدان	68eh	24.9di	2.30hj	17.50ei	0k	2.75ko	8.50gk	10.60df	49.79hi	17.47jl	35.10af
	(A) اردستان	65.5h	22.0ij	2.20hk	15.20il	5.41jk	3.17jo	11.58ah	9.94eh	48.31hi	18.28il	39.75ab
	(Shr) شیراز	70dh	22.7hj	2.15il	16.30gk	10.5ik	3.68jo	10.47ci	7.50ln	60.68gi	20.03hl	34.05af
٪20 FC	(N) نیشابور	79.3d	9.5q	1.12r	11.10pr	0k	2.02lo	6.05kl	4.66p	21.17hi	3.85l	19.07j
	(Shi)شیروان	66.7fh	15.6lo	1.87lo	13.70lo	0k	1.42o	6.42jl	7.24o	25.62hi	4.64l	19.40ij
	(M) مشهد	67.3fh	15.0lo	1.72np	12.80mp	0k	1.03o	7.37il	7.75kn	22.28hi	4.35l	21.07hj
	(T) تبریز	65.3h	15.2ol	1.58op	12.60nq	0k	1.65no	3.80kl	7.52ln	27.21hi	4.19l	21.77gj
	(R) رودسر	72.3dh	11.2pq	1.28qr	9.18r	0k	1.80mo	6.47jl	6.52no	23.57hi	6.30kl	27.42dj
	(I) اصفهان	64.8h	14.2mp	1.70np	11.50oq	1.22k	1.82mo	7.45il	6.48no	25.04hi	7.09kl	26.82ej
	(H) همدان	66.0gh	18.1kl	2jm	14.90jm	0k	1.30o	6.85il	7.56ln	26.32hi	4.99kl	18.92j
	(A) اردستان	63.5h	13.2np	1.90km	11.90oq	0k	1.77mo	9.80ck	6.89mo	17.45hi	5.46kl	30.67dh
	(Shr) شیراز	65.8gh	12.8oq	1.53pq	10.40qr	0k	1.38o	6kl	6.08o	18.14hi	3.54l	24.33fj

حروف مشترک در هر ستون نشان‌دهنده‌ی عدم اختلاف معنی‌دار براساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد می‌باشد. هم‌چنین حروف مختلف N, Shi, M, T, R, I, H, A, Shr به‌ترتیب نشان‌دهنده‌ی توده‌های بومی نیشابور، شیروان، مشهد، تبریز، رودسر، اصفهان، همدان، اردستان و شیراز می‌باشند.

Means followed by similar letters in each column are not significantly different at 5% probability level, using Dancan's Multiple Rang Test. Letters N, Shi, M, T, R, I, H, A, Shr refer to Neyshabur, Shirvan, Mashhad, Tabriz, Roudsar, Isfahan, Hamadan, Ardestan and Shiraz landraces, respectively.

عملکرد بیولوژیک: در تنش شدید خشکی عملکرد تـوده بـومی شیروان نسبت به تیمار شاهد ۹۲/۳۷٪ کاهش داشت، درصورتی‌که در توده بومی اصفهان مقدار این کاهش ۷۴/۹٪ بود (جدول ۴)، بیشترین عملکرد بیولوژیک در تیمار بدون تنش (شاهد) تـوده بـومی شـیروان، تنش ملایم توده بومی رودسر و تنش متوسط توده نیشـابور مشـاهده شد و همچنین در تنش شدید تفاوت معنی‌داری بین توده‌هـای بـومی

مورد بررسی مشاهده نشد (جدول ۴). در سال دوم آزمایش عملکرد بیولوژیک بالاتری در مقایسه با سال اول مشاهده شد که دلیل این امر را می‌توان به بارندگی بیشتر در ماه‌های ابتدایی اعمال تنش و میانگین پایین‌تر دمای ماهیانه در دو ماه اول پس از کشت در سال دوم دانست که موجب عملکرد بیولوژیک بالاتر در تنش خشکی شدید در سال دوم در مقایسه با سال اول گردید (جدول ۱). کاهش شدید زیست‌توده با کاهش سطوح آبیاری را می‌توان به دلیل کاهش آب قابل‌دسترس گیاه و همچنین کمبود جذب عناصر غذایی توسط ریشه گیاهان تحت تنش دانست. در بررسی تنش خشکی بر روی توده‌های بومی بیشترین و کمترین درصد کاهش عملکرد بیولوژیک در تیمار تنش نسبت به تیمار شاهد به‌ترتیب در توده ری (۵۳/۶۲) و کرمان (۳۴/۸۷) مشاهده شد (Sadeghzadeh Ahari *et al.*, 2009). در مطالعه‌ای که بر روی اثر تنش خشکی بر روی شش توده شنبلیله انجام گردید، تنش خشکی موجب کاهش وزن اندام هوایی در این گیاهان گشت، بیشترین و کمترین درصد کاهش وزن اندام هوایی در تنش شدید در مقایسه با تیمار شاهد به‌ترتیب در توده اردستان (۵۲/۹) و شیراز (۳۳/۹) مشاهده شد (Bazzazi *et al.*, 2013). در تحقیقی بر روی ژنوتیپ‌های شنبلیله، بیشترین عملکرد بیولوژیک در شرایط عدم تنش و تنش به ترتیب در ارقام Rmt-303 و Rmt-143 مشاهده شد، بیشترین عملکرد بیولوژیک در تمامی ژنوتیپ‌های مورد بررسی در تیمار عدم تنش مشاهده شد (Chauhan *et al.*, 2017).

عملکرد دانه: توده بومی اصفهان در تنش شدید خشکی عملکرد دانه نسبت به تنش ملایم کمترین درصد کاهش را در بین توده‌های بومی داشت، بیشترین عملکرد دانه در تیمار بدون تنش (شاهد) توده بومی شیروان، تنش ملایم توده بومی رودسر و شیروان و در تنش متوسط توده بومی شیروان مشاهده شد و در تنش شدید تفاوت معنی‌داری بین توده‌های بومی مشاهده نشد (جدول ۴). توده بومی شیروان و رودسر با تولید زیست‌توده بیشتر تولید دانه بیشتری نیز نسبت به سایر توده‌های بومی تولید کردند. در سال دوم آزمایش عملکرد بالاتری نسبت به سال اول مشاهده شد که دلیل این امر را می‌توان بارندگی بیشتر در ماه‌های اول اعمال تنش در سال دوم نسبت به سال اول و رشد سبزینه بالاتر گیاهان در این سال برای تأمین مواد فتوسنتزی دانه دانست (جدول ۳).

با استفاده از رگرسیون گام‌به‌گام شاخص‌های دارای تأثیر ناچیز بر عملکرد دانه حذف شدند؛ بنابراین تابع عملکرد دانه (SY) با شاخص‌هایی که دارای تأثیر عمده بر عملکرد دانه بودند (شامل تعداد غلاف در بوته (PP)، طول شاخه جانبی (SBL)، عملکرد زیست‌توده (BY) و شاخص برداشت (HI)) با استفاده از رگرسیون چندگانه به‌دست آمد که با ضریب تبیین این صفات ۰/۹۶۷ بود؛ که می‌توان بیان کرد ۹۶/۷٪ از تغییرات عملکرد دانه تحت تأثیر این صفات است.

SY = (1.37×PP) + (-0.354×SBL) + (0.535×HI) + (0.361×BY)

مطالعات دیگری همبستگی بالای بین ارتفاع بوته با عملکرد (Shaban *et al.*, 2012; Fikreselassie *et al.*, 2012) را نشان داده است. پژوهش صادق زاده اهری و همکاران (Sadeghzadeh Ahari *et al.*, 2016) نیز که بر روی توده‌های بومی شنبلیله انجام دادند، همبستگی بالایی بین تعداد غلاف در بوته و تعداد دانه در بوته با عملکرد دانه را گزارش کردند. تنش خشکی با کاهش سطح برگ، کارایی مصرف نور و شاخص برداشت موجب کاهش عملکرد ده گیاه می‌گردد (Aliabadi *et al.*, 2009). کاهش عملکرد در تنش خشکی در هنگام گل‌دهی می‌تواند براثر کاهش تعداد دانه در بوته، وزن دانه و یا هر دو این موارد باشد (Barnabas *et al.*, 2007). یکی از دلایل کاهش عملکرد را در شرایط افزایش تنش می‌توان تخصیص بخش بیشتری از مواد فتوسنتزی به اندام زیرزمینی در مقایسه به اندام هوایی دانست (Sreevalli *et al.*, 2001). مینا و همکاران (Meena *et al.*, 2016) در بررسی خود بر روی ارقام شنبلیله بیشترین و کمترین درصد کاهش عملکرد دانه در شرایط تنش نسبت به تیمار شاهد را به‌ترتیب با ۲۶٪ و ۱۳٪ در ارقام UM-100 و UM-102 مشاهده کردند. در تحقیق چائوهان و همکاران (Chauhan *et al.*, 2017) بیشترین و کمترین عملکرد دانه به‌ترتیب در ارقام Rmt-303 (۸/۰۲ گرم) و رقم Rmt-354 (۵/۰۸ گرم) در شرایط عدم تنش و تنش مشاهده شد، در شرایط عدم تنش تفاوت معنی‌داری بین ارقام مورد بررسی وجود نداشت.

شاخص برداشت: تنش شدید خشکی شاخص برداشت توده بومی شیروان را ۴۸/۸٪ و شاخص برداشت شاخص برداشت توده بومی رودسر را ۷/۵۲٪ نسبت به شاهد کاهش داد. بیشترین شاخص برداشت در تیمار بدون تنش (شاهد) و تنش ملایم توده بومی شیروان، تنش متوسط توده بومی اصفهان و تنش شدید توده بومی اردستان ثبت شد (جدول ۴). شاخص برداشت سال اول آزمایش نسبت به سال دوم بیشتر بود که دلیل آن را می‌توان پایین‌تر بودن نسبت وزن زیست‌توده به وزن دانه تولیدی سال اول نسبت به سال دوم دانست (جدول ۱). شاخص برداشت همبستگی بالا و مثبتی با تعداد دانه در غلاف و وزن هزار دانه داشت (جدول ۵).

تنش ملایم خشکی در گیاهان رشد نامحدود به علت کاهش رشد رویشی موجب افزایش شاخص برداشت می‌شود و تنش شدید خشکی به علت کاهش شدید زیست‌توده بوته‌های تحت تنش و کاهش انتقال مواد پرورده به دانه موجب کاهش شدید وزن دانه‌های گیاه و درنتیجه شاخص برداشت می‌شود (Aliabadi *et al.*, 2009). در مطالعه‌ای که بر روی اثر تنش خشکی بر روی بیست‌توده بومی شنبلیله انجام شد نیز تنش خشکی موجب کاهش شاخص برداشت در این گیاهان شد، در شرایط تنش و عدم تنش تفاوت معنی‌داری در شاخص برداشت توده‌های بومی مورد مطالعه وجود داشت (Sadeghzadeh Ahari *et*

al., 2016). در بررسی که محققان بر روی شنبلیله انجام دادند تنش خشکی موجب افزایش ۱۲٪ شاخص برداشت در مقایسه با تیمار عدم تنش گردید (Ahmed *et al.*, 2018).

تعداد دانه در غلاف و وزن هزار دانه در مقایسه با سایر صفات همبستگی بالاتری با شاخص برداشت داشتند. در مطالعه‌ای که محققان بر روی ژنوتیپ‌های لوبیای قرمز (*Phaseolus vulgaris* L.) انجام دادند، همبستگی بالایی را بین شاخص برداشت و عملکرد و تعداد دانه در غلاف مشاهده کردند (Naseh Ghafoori *et al.*, 2012).

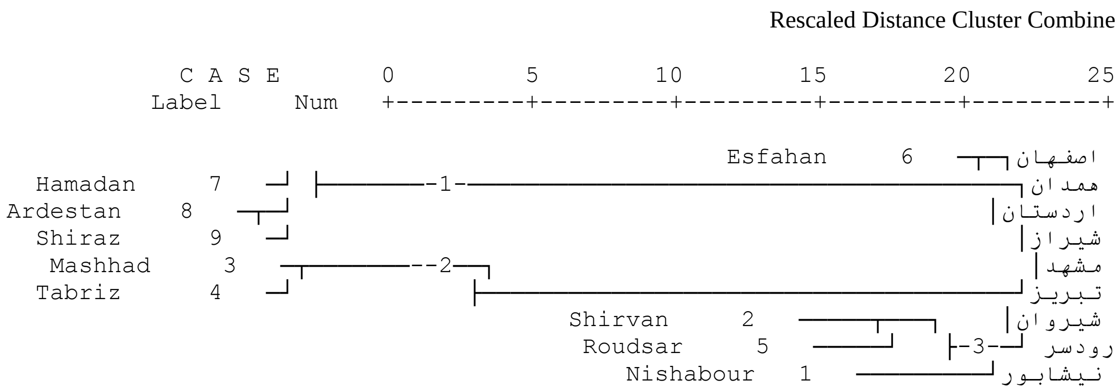
جدول ۵- ضرایب همبستگی صفات مورد بررسی در توده‌های بومی شنبلیله تحت تأثیر تنش خشکی

Table 5- Correlation coefficients of the studied traits of Fenugreek ecotypes under drought stress

	تعداد روز تا رسیدگی Days to rippening (A)	ارتفاع بوته Plant height (B)	طول میانگره length of Internode (C)	طول شاخه جانبی Lateral branch length (D)	ارتفاع اولین غلاف تشکیل‌شده Height of first pod (E)	تعداد غلاف در بوته Number of pods per plant (F)	تعداد دانه در غلاف Number of seeds per pod (G)	وزن هزار دانه 1000-seed weight (H)	عملکرد دانه Seed yield (I)	عملکرد بیولوژیک Biological yield (J)	شاخص برداشت Harvest index (K)
A	1										
B	0.249**	1									
C	-0.049ns	0.770**	1								
D	0.585**	0.563**	0.369**	1							
E	0.255**	0.867**	0.772**	0.584**	1						
F	0.491**	0.603**	0.457**	0.910**	0.562**	1					
G	0.234**	0.423**	0.379**	0.162*	0.406**	0.152**	1				
H	-0.138*	0.672**	0.653**	0.116ns	0.608**	0.221**	0.322**	1			
I	0.384**	0.715**	0.554**	0.880**	0.721**	0.869**	0.345**	0.356**	1		
J	0.270**	0.731**	0.589**	0.792**	0.698**	0.848**	0.411**	0.458**	0.957**	1	
K	0.022ns	0.321**	0.327**	0.008ns	0.241**	0.169*	0.507**	0.513**	0.114ns	0.307**	1

ns، ** و * به‌ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطوح یک و پنج درصد

*, **: Significant at 0.05 and 0.01 probability levels, respectively; ns: means non-significant



شکل ۱- دندوگرام حاصل از گروه‌بندی نه توده بومی شنبلیله بر اساس عملکرد در شرایط نرمال و تنش خشکی با روش Ward

Figure 1- Dendrograms derived from grouping of nine Fenugreek ecotypes based on yield under normal conditions and drought stress using Ward method

تجزیه خوشه‌ای و تجزیه عاملی

در تجزیه عاملی صفات مورد بررسی به سه عامل کاهش پیدا کردند که عامل اول (روز تا رسیدگی) ۶۷/۳۶٪، عامل دوم (عملکرد دانه) ۴۱/۶۶٪ و عامل سوم (تعداد دانه در بوته) ۴۸/۹۳٪ از تغییرات را

توجیه می‌نمودند (جدول ۶). سه صفت تعداد روز تا رسیدگی، عملکرد دانه و تعداد دانه در بوته به‌ترتیب بالاترین تأثیر مثبت را در عامل اول، دوم و سوم دارا بودند (جدول ۷). اشکانی و همکاران (Ashkani *et al.*, 2007) نیز در بررسی که بر روی ژنوتیپ‌های گیاه گلرنگ انجام دادند، با استفاده از تجزیه به عامل‌ها تعداد شش عامل را شناسایی کردند که درمجموع ۸۰٪ از واریانس کل داده‌ها را توجیه می‌کرد. شارما و ساستری (Sharma and Sastry, 2008) گزارش کردند، در تجزیه عاملی بیشترین عامل مؤثر بر عملکرد دانه ژنوتیپ‌های شنبلیله به‌ترتیب زیست‌توده، تعداد شاخه جانبی و تعداد غلاف در هر بوته بودند.

گروه‌بندی توده‌های بومی مورد مطالعه بر اساس صفات در شرایط مطلوب و تنش با استفاده از شاخص‌های مورد بررسی با استفاده از روش وارد (Ward) انجام شد. نتایج تجزیه خوشه‌ای نشان داد که توده‌های بومی اصفهان، اردستان، همدان و شیراز در گروه اول و توده‌های بومی مشهد و تبریز در گروه دوم و توده‌های بومی و شیروان، رودسر و نیشابور در گروه سوم قرار گرفتند (شکل ۱). توده‌های بومی گروه سوم ازلحاظ عملکرد و متحمل بودن به تنش در سطح بالاتری نسبت به سایر توده‌های بومی مورد بررسی قرار دارند، توده بومی نیشابور در مقایسه با دو توده بومی دیگر عملکرد دانه بیشتری را دارا بود. به‌طورکلی نتایج این مطالعه نشان داد که عملکرد دانه همبستگی مثبت و بالایی با زیست‌توده، تعداد غلاف در بوته، تعداد و طول شاخه جانبی و ارتفاع بوته داشت (جدول ۵). محققان مختلفی در تحقیقات خود بر روی گیاهان شنبلیله (Sadeghzadeh Ahari *et al.*, 2014) و نخود (*Cicer arietinum* L.) (Mafakheri *et al.*, 2010) از روش تجزیه خوشه‌ای برای گروه‌بندی و تعیین قرابت و دوری ژنوتیپ‌ها و اکوتیپ‌های مورد بررسی استفاده نمودند و توانستند با این روش به خوبی قرابت ژنوتیپ‌ها و اکوتیپ‌های مورد بررسی را تعیین نمایند.

با توجه به نتایج رگرسیون گام‌به‌گام و ارتباط بالای صفاتی مانند زیست‌توده، شاخص برداشت، طول شاخه جانبی و تعداد غلاف با عملکرد دانه، به نظر می‌رسد که برای حصول به حداکثر عملکرد در توده‌های بومی مورد بررسی، باید در روش‌های مختلف به‌زراعی و به‌نژادی سعی در افزایش این صفات نمود. با توجه به این‌که عامل سوم بیشترین میزان تغییرات را توجیه می‌کند، از صفاتی که در این عامل بزرگ‌ترین ضرایب عاملی را دارند، می‌توان برای انتخاب بهترین توده بومی‌ها استفاده کرد. بالاترین زیست‌توده تولیدی در تیمار شاهد و تنش به‌ترتیب در توده بومی شیروان و نیشابور مشاهده شد.

نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج به‌دست‌آمده می‌توان استراتژی گیاه شنبلیله در برابر تنش خشکی را فرار این گیاه با کوتاه کردن دوره رشد خود تحت تنش دانست. با توجه به بارندگی ناچیز در دوره رشد گیاه (که قابل صرف‌نظر کردن است) می‌توان اظهار داشت که تفاوت‌های مشاهده‌شده در عملکرد دانه و زیست‌توده در توده‌های بومی شنبلیله ناشی خصوصیات ژنتیکی توده‌های بومی مورد بررسی است، در شرایط تنش متوسط و تنش شدید خشکی کشت تجاری و اقتصادی شنبلیله توجیه‌پذیر نیست. با توجه به دندوگرام رسم شده، توده‌های نیشابور، شیروان و رودسر در بیشتر صفات مورد بررسی نسبت به سایر توده‌های بومی مورد بررسی برتر بودند و می‌توان کشت این سه توده را برای تولید پایدار شنبلیله در مناطق خشک توصیه کرد. همچنین، نتایج حاصل از این مطالعه را می‌توان برای انتخاب هدفمند والدین مناسب از گروه‌های مختلف برای تولید ارقام جدید در برنامه‌های اصلاحی شنبلیله مورد استفاده قرار داد.

جدول ٦- مقادیر بردارهای ویژه و سهم تجمعی شاخص‌های مورفولوژی و عملکرد در شرایط نرمال و تنش خشکی در ۹ توده بومی شنبلیله

Table 6- Amounts of initial eigenvalue and cumulative contributions of morphological and yield indices under normal and drought stress conditions in 9 Fenugreek ecotypes

	پس از چرخش وریماکس After rotation varimax			قبل از چرخش عاملی Befor rotation factor		
عامل‌ها Factors	مقدار بردار ویژه اولیه Initial eigenvalue	درصد واریانس Variance%	درصد واریانس تجمعی Cumulative variance percentage	مقدار بردار ویژه اولیه Initial eigenvalue	درصد واریانس Variance%	درصد واریانس تجمعی Cumulative variance percentage
1	36.67	36.67	5.87	58.85	58.85	9.42
2	66.41	29.74	4.76	79.99	21.14	3.38
3	93.48	27.07	4.33	93.48	13.49	2.16

جدول ۷- مقادیر ماتریس عامل‌های صفات موردبررسی بر روی توده‌های بومی شنبلیله در شرایط نرمال و تنش خشکی

Table 7- Factor matrix of the studied traits on Fenugreek ecotypes under normal and drought stress conditions

صفات	عامل اول First factor	عامل دوم Second factor	عامل سوم Third factor
ارتفاع گیاه Plant height	0.954	0.087	-0.246
طول میانگره The length of Internode	0.573	-0.442	-0.607
طول شاخه جانبی Lateral branch length	-0.441	0.494	0.735
روز تا رسیدگی Days to maturity	**0.981**	-0.044	0.057
ارتفاع اولین غلاف تشکیل‌شده Height of first pod	-0.139	0.832	0.471
تعداد غلاف اصلی Number of mean pods	-0.606	0.678	0.269
تعداد دانه در غلاف Number of seeds per pod	0.128	-0.164	-0.775
تعداد دانه در بوته Number of seeds per plant	-0.386	0.019	**0.890**
وزن هزار دانه 1000 seeds weight	0.827	0.051	-0.542
عملکرد بیولوژیک Biological yield	0.185	0.889	0.370
عملکرد دانه Seed yield	0.294	**0.917**	-0.250
شاخص برداشت Harvest index	-0.085	0.043	-0.971

اعداد پررنگ شده نشان‌دهنده مهم‌ترین صفات در هر عامل می‌باشد

Bold numbers represent the most important factor in each agent

References

1. Acharya, S. N., Thomas, J. E., and Basu, S. K. 2008. Fenugreek, an alternative crop for semiarid regions of North America. Crop Sience 48: 841-853. https://doi.org/10.2135/cropsci2007.09.0519.
2. Acharya, S., Srichamroen, A., Basu, S., Ooraikul, B., and Basu, T. 2006. Improvement in the nutraceutical properties of fenugreek (*Trigonella foenum-graecum* L.). Songklanakarin Journal of Science and Technology. 28 (1): 1-9.
3. Ahmed, M. A., Magda, A. F. Shalaby, El-Housini Ebtesam, A., and Khater M. A. 2018. Alleviation of drought stress on fenugreek (*Trigonella foenum-graecum* L.) plants by foliar application of polyamines compounds. Middle East Journal of Applied Science 8 (2): 883-894.
4. Alavi samani, S. M., Pirbalouti, A. G., Kachouei, M. A., and Hamedi, B. 2013. The influence of reduced irrigation on herbage, essential oil yield ad quality of *Thymus vulgaris* and *Thymus daenensis*. Journal of Herbal Drugs 4: 109-113.
5. Aliabadi, F. H., Valadabadi, S. A. R., Daneshian, J., and Khalvati, M. A. 2009. Evaluation changing of essential oil of balm (*Melissa of ficinalis* L.) under water deficit stress conditions. Journal Medcinal Plant Research 3: 329-333. https://doi.org/10.5897/JMPR.9000606.
6. Alizadeh, A. 2006. Soil, Water, Plant Relationships. Imam Reza University Press, Mashhah, Iran. (in Persian).
7. Aryafar, S., Sirousmehr, A. R., and Najafi, S. 2013. Effects of municipal compost on yield and some quantitative and qualitative characteristics of *Nigella sativa* under drought stress. Science and Engineering Investigations 23: 76-84.
8. Ashkani, J., Pakniyat, H., Emam, Y., Asad, M. T., and Bahrani, M. J. 2007. The evaluation and relationships of some physiological traits in spring safflower (*Carthamus tinctorius* L.) under stress and non-stress water regimes. Journal of Agricultural Science andTechnolgy 9: 15-30.
9. Baghalian, K., Abdoshah, S., Khalighi-Sigaroodi, F., and Paknejad, F. 2011. Physiological and phytochemical response to drought stress of German chamomile (*Matricaria recutita* L.). Plant Physiolical Biochemistry 49: 201-207. https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2010.11.010.
10. Bahreininejad, B., Razmjoo, J., and Mirza, M. 2013. Influence of water stress on morpho-physiological flowering and some yield traits of coriander and phytochemical traits in *Thymus daenensis*. International Journal of Plant Production 7: 151-165.
11. Barnabas, B., Jager, K., and Feher, A. 2007. The effect of drought and heat stress on reproductive processes in cereals. Plant Cell Environment 31: 11-38. https://doi.org/10.1111/j.1365-3040.2007.01727.x.
12. Basafa, M., and Taherian, M. 2009. A study of agronomic and morphological variations in certain alfalfa (*Medicago sativa* L.) ecotypes of the cold region of Iran. Asian Journal Plant Science 8: 293-300.
13. Bazzazi, N., Khodambashi, M., and Mohammadi, S. 2013. The Effect of drought stress on morphological characteristics and yield components of medicinal plant Fenugreek. Journal of Crop Production and Processing 3

(8): 11-23. (in Persian with English abstract).

14. Chandra, K., Sastry, E. V. D., and Singh, D. 2000. Genetic variation and character association of seed yield and its component in fenugreek. Agricultural Science Digest 20: 93-95.
15. Chauhan, J., Singhal, R. K., Kakralya, B. L., Kumar, S., and Sodani, R. 2017. Evaluation of yield and yield attributes of fenugreek (*Trigonella foenum graecum*) genotypes under drought conditions. International Journal Pure Applied Bioscience 5 (3): 477-484. http://dx.doi.org/10.18782/2320-7051.4019.
16. Ennajeh, M., Vadel, A. M., Cochard, H., and Khemira, H. 2010. Comparative impacts of water stress on the leaf anatomy of a drought resistant and a drought-sensitive Olive cultivar. Journal of Horticultural Science and Biotechnology 85: 289-294. https://doi.org/10.1080/14620316.2010.11512670.
17. Faraji, A. 2014. Evaluation the response of soybean (*Glycin Max* L.) genotypes to drought stress. Journal of Plant Breeding 24 (14): 40-27. (in Persian with English abstract).
18. Farokhinia, M., Roshdi, M., Pasban Eslam, B., and Sasandoost, R. 2011. Study of some physiological traits and yield in spring safflower under water deficit stress, Iranian Journal of Field Crop Science 42 (3): 545-553. (in Persian).
19. Fikreselassie, M., Zeleke, H., and Alemayehu, N. 2012. Correlation and path analysis in Ethiopian Fenugreek (*Trigonella foenum-graecum* L.) landraces. Crown Research in Education 3: 132-42.
20. Gorgini Shabankareh, H., Fakheri, B., and Mohammadpuor Vashvaii, R. 2015. Effects of different levels of salinity and drought stress on growth parameters and essential oil of lemon balm (*Melissa officinalis* L.). Iranian Journal of Field Crop Science 46 (4): 673-686. (in Persian).
21. Gurjar, M.; Naruka, I. S., and Shaktawat, R. P. S. 2016. Variability and correlation analysis in fenugreek (*Trigonella foenum-graecum* L.). Legume Research 39 (3): 459-465.
22. Houshmand, S., Abasalipour, H., Tadayyona, A., and Zinali, H. 2012. Evaluation of four chamomile species under late season drought stress. International Journal of Plant Production 5 (1): 1735-8043.
23. Kumar, K., Kumar, S., Datta, A., and Bandyopadhyay, A. 2015. Effect of fenugreek seeds on glycemia and dyslipidemia in patients with type 2 diabetes mellitusg. International Journal of Medical Science and Public Health 4 (7): 997-1000.
24. Mafakheri, A., Siosemardeh, A., Bahramnejad, B., Struik, P.C., and Sohrabi, E. 2010. Effect of drought stress on yield, proline and chlorophyll contents in three chickpea cultivars. Australian Joutrnal of Crop Sciences 4: 580-585.
25. Meena, S., Mittal1, G. K., Shivran, A. C., Singh, D., Niyariya, R., Gupta, N. K., Singh B., and Saxena, S. N. 2016. Water stress induced biochemical changes in fenugreek (*Trigonella foenum graecum* L.) genotypes. International Journal of Seed Spices 6 (2): 61-70.
26. Mehrafarin, A., Qaderi A., Rezazadeh Sh., Naghdi Badi, H., Noormohammadi, Gh., and Zand, E. 2010. Bioengineering of important secondary metabolites and metabolic pathways in Fenugreek (*Trigonella foenumgraecum* L.). Journal of Medicinal Plants 35: 1-18.
27. Mohammadi, S. A., and B. M. Prasanna. 2003. Analysis of genetic diversity in crop plants- Salient statistical tools and considerations. Crop Science 43: 1235-1248. https://doi.org/10.2135/cropsci2003.1235.
28. Naseh Ghafoori, A., Unparalleled, M., Zali, A., Afzali Mohammad Abadi, M., and Dari, H. 2012. Effect of drought stress on yield and yield components and determination of the best drought stress index in common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). Journal of Plant Production Research 17 (4): 71-89. (in Persian).
29. Pavlista, A. D., and Santra, D. K. 2016. Planting and harvest dates, and irrigation on fenugreek in the semi-arid high plains of the USA. Industrial Crops Production 94: 65-71. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2016.07.052.
30. Rahmani, N., Aliabadi Farahani, H., and Valadabadi, S. A. R. 2008. Effects of nitrogen on oil yield and its component of Calendula (*Calendula officinalis* L.) in drought stress conditions. Abstracts Book of the world congress on medicinal and aromatic plants, South Africa 364.
31. Raychaudhuri, S., Stuart, J. M., and Altman, R. B. 2000. Principal components analysis to summarize microarray experiments: Application to sporulation time series. Proceeding of Pacific Symposium on Biocomputing 455-466, January 4-9, Hawaii, USA. https://doi.org/10.1142/9789814447331_0043.
32. Razmjoo, K., Heydarizadeh, P., and Sabzalian, M. R. 2008. Effect of salinity and drought stresses on growth parameters and essential oil content of *Matricaria chamomile*. International Journal of Agriculture and Biology 10 (4): 451-454.
33. Rezvani, M. P., and Sadeghi, S. R. 2007. Effect of sowing dates and different irrigation regimes on morphological characteristics and grain yield of chickpea ((*cicer arietinum* L.) (Cultivar ILC3279). Journal of Agricultural Research of Iran 6: 314-325. (in Persian).
34. Rohbakhsh, H. 2013. Alleviating adverse effects of water stress on growth and yield of forage sorghum by potassium application. Advances in Environmental Biology 7: 40-46.
35. Sadeghzadeh Ahari, D., Hassandokht, D. M. R., Kashi, A. K., and Amri, A. 2014. Genetic diversity and broad-sense heritability of some morphological characteristics of fenugreek under limited irrigation, Seed and Plant Improvment Journal 30 (2): 383-397. (in Persian).

36. Sadeghzadeh Ahari, D., Kashi A. K., Hassandokht, M. R., Amri, A., and Alizadeh, Kh. 2009. Assessment of drought tolerance in Iranian fenugreek landraces. Journal of Food, Agriculture and Environment 7: 414-419.
37. Sadeghzadeh Ahari, Hassandokht, D. M. R., Kashi, A. K., and Amri, A. 2016. Effect of drought stress on some agronomical and physiological traits of Iranian fenugreek landraces. Arid Biome Scientific and Research Journal 6 (1): 84-67. (in Persian).
38. Shaban, M., Mansourifar, S., Ghobadi, M., and Sabaghpour, H. 2013. Investigation of phenological and morphological characteristics and correlation them with yield in chickpea (*Cicer arietinum* L.) cultivars under drought stress and N fertilizer in Kermanshah province. Iranian Journal of Pulses Research 1 (1): 68-59. (in Persian with English abstract).
39. Sharma, K. C., and Sastry, E. V. D. 2008. Path analysis for seed yield and its component characters in Fenugreek (*Trigonella foenum-graecum* L.). Journal of Spices and Aromatic Crops 17: 69-74.
40. Siddiqui, M. H., AlKhaishany, M. Y., AlQutami, M. A., AlWhaibi, M. H., Grover A., Ali, H. M., Al-Wahibi, M. S., and Bukhari, N. A. 2015. Response of different genotypes of faba bean plant to drought stress. International Journal of Molecular Sciences 16: 10214-10227. https://doi.org/10.3390/ijms160510214.
41. Smith, J. S. C., and Smith, O. S. 1992. Fingerprinting crop varieties. Advances in Agronomy 47: 85-140. https://doi.org/10.1016/S0065-2113(08)60489-7.
42. Sreevalli, Y., Baskaran, K., Chandrashekara, R., and Kuikkarni, R. 2001. Preliminary observations on the effect of irrigation frequency and genotypes on yield and alkaloid concentration in petriwinkle. Journal of Medicinal and Aromatic Plant Science 22: 356-358.
43. Zandi, P., Shirani Rad, A. H., Daneshian, J. and Bazrkar Khatibani, L. 2013. Evaluation of nitrogen fertilizer and plant density effects on yield and yield components of Fenugreek in double cropping. Journal of Plant Production 35 (4): 81-91.